

Connessionismo

di Paolo CELERE

Sommario:

Shrdlu

La rete semantica

La rete mentale di un autore

La rete cerebrale

La rete e i colori

Confronto tra rete semantica e rete cerebrale

Mappe

Rientri

Repertori secondari

Conclusioni

Shrdlu

Osservando un comune diagramma di flusso possiamo notare che esso è una descrizione generale di stati ed operazioni. Famoso è quello di un complesso programma messo a punto da Winograd denominato SHRDLU, mediante il quale è possibile interagire vocalmente con un computer collegato ad un braccio meccanico ed ordinare alcune operazioni semplici in un universo costituito da pochi solidi geometrici elementari. La prestazione ora considerata rappresenta solo una delle possibilità operative del programma e consiste nel verificare se nell' universo fisico in cui opera il braccio meccanico è presente un cubo rosso sormontato da una piramide.

Consideriamo ora l'operazione "Trova una piramide X2". Contrariamente a quanto può apparire la sua attuazione reale comporta una certa problematicità: come può il sistema, una volta incontrata, riconoscere una piramide come piramide e non come qualche altra cosa? Come avviene cioè il processo di riconoscimento - identificazione da parte del sistema? Il metodo più semplice e forse il solo possibile per identificare una determinata informazione in arrivo da una periferica è per il computer operare dei confronti tra questa informazione e un corrispondente prototipo presente in memoria. In pratica, per poter identificare la lettera A il computer deve avere precedentemente già presente in un data base la lettera A.

Ciò non significa necessariamente che il computer debba avere in memoria degli oggetti complessi, il riscontro può infatti avvenire su singole parti, rilevando dei caratteri specifici; ma questi, benché più semplici, non sfuggono alla necessità di dover essere riscontrati tramite la comparazione con un prototipo identificativo. Per quanto riguarda le prestazioni la cosa si ripete identica: ciò che il computer può fare è

solo quello che è già interamente presente in memoria. In pratica la successione delle operazioni deve essere totalmente prevista, ovvero programmata. In sostanza l'architettura elaborativa di tipo comparativo che lo caratterizza impone che l'informazione sia totalmente già presente in forma esplicita nella memoria interna del computer, e che il percorso del flusso informativo, cioè del collegamento tra informazioni, sia assolutamente rigido. Infatti il senso di percorrenza è sempre rigidamente guidato mediante frecce.

La rete semantica

Consideriamo ora un sistema differente di esprimere l'informazione. Proviamo ad osservare il funzionamento di una rete semantica. In questo tipo di struttura sono rappresentate alcune informazioni ed una loro eventuale attinenza o associabilità dal punto di vista semantico. Le informazioni vengono collegate a dei crocevia della rete denominati nodi; questi nodi possono essere tra loro direttamente associati, quando l'implicazione semantica è rilevante, mediante connessioni denominate archi. Un esempio semplice di rete può essere il seguente:

Occorre osservare che la rete, contrariamente a quanto avviene per i diagrammi di flusso, nel suo complesso contiene informazioni, ma non è informazione essa stessa. Questa viene generata solo percorrendo la rete. L'informazione nella rete c'è, ma è distribuita. Dipende dal percorso intrapreso quale tipo di informazione si vuole costruire di volta in volta. In questo senso si possono generare molteplici combinazioni informative. Ad esempio, percorrendo la rete dal nodo cane al nodo carnivoro si attua a livello informativo un processo di generalizzazione, ovvero si osserva che il cane è un carnivoro, appartiene cioè alla classe dei carnivori; oppure si può attuare un processo di specificazione: la classe dei carnivori ha uno dei suoi appartenenti nel cane (o nel gatto, nell'orso bianco..). Si può produrre quindi un flusso informativo di generalizzazione o di specificazione solo cambiando il senso di attraversamento dei medesimi nodi.

L'informazione prodotta in una rete è quindi interpretabile come un processo generativo piuttosto che come un dato di comparazione. Essendo un processo ha bisogno da un lato di un supporto logico in cui dei dati siano associabili in modo combinatorio, dall'altro di un'azione, in questo caso esterna alla rete, che imponga una dinamica di combinazione tale da generare il processo informativo. Va osservato a tal proposito che le singole frasi o informazioni così generate: a) il cane è un carnivoro; b) tra gli animali carnivori c'è il cane; sono una struttura completa già costruita, quindi rigida: sono il prodotto finito del processo e non il processo stesso che le ha generate.

Rispetto al modo in cui è prevista l'informazione nei diagrammi di flusso e nei programmi dei computer, la rete semantica rappresenta quindi un struttura

profondamente diversa. Percorrendo a nostro piacimento la rete possiamo sapere che il lupo è un mammifero carnivoro; mentre gli orsi sono mammiferi carnivori o erbivori; che il gatto è un animale domestico come il cane ecc..In tal senso una rete semantica è una struttura con molte informazioni distribuite che noi possiamo combinare variamente in una forma superiore (cioè in una frase) solo decidendo quali percorsi attuare.Nei programmi dei computer invece il percorso tra informazioni, cioè il percorso informativo è già totalmente previsto. In questo caso é già nota e ben determinata nel numero anche la quantità di informazioni in gioco. Una rete semantica é incomparabilmente superiore; ha tutta la potenzialità generativa prodotta da un sistema combinatorio: poche informazioni semplici possono generare un numero enorme di combinazioni informative superiori.

La rete mentale di un autore

Quella che vediamo di seguito è la rete semantica tematica sulla quale KD.R. Hofstadter ha prodotto l'opera Godel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante.

Percorrendola in lungo ed in largo possiamo farci un'idea abbastanza precisa di quali siano le affinità e i rimandi reciproci tra i diversi argomenti secondo la visione dell'autore. Potenzialmente, mediante questa, si possono generare moltissime altre riscritture del libro, del tutto identiche come correlazione semantica degli argomenti a quella voluta da Hofstadter, ma diverse come sequenze di sviluppo tra questi. Quest'ultima rete è, come numero di nodi collegati, molto più vasta di quella precedentemente considerata, ma condivide con questa una caratteristica molto importante: in entrambi i casi le reti vengono strutturate a partire da un certo livello informativo ben determinato.

Nella prima rete considerata i nodi sono costituiti da alcuni elementi informativi elementari che sono indicati dalle parole lupo, carnivoro, vertebrato, ecc.; e nella seconda rete dalle parole e frasi, Achille e la tartaruga, 2D - 3D, neuroni, ecc.. Percorrendo entrambe le reti generiamo un'informazione complessa solo associando in modo combinatorio queste informazioni elementari. Ora una domanda cruciale: quelle poste sui nodi sono informazioni elementari o non sono piuttosto, esse stesse, degli aggregati informativi composti a loro volta percorrendo delle reti semantiche sottostanti? Ma una rete di più basso livello il cui prodotto associativo fosse l'informazione lupo, oppure vertebrato, oppure calcolatore, dalla combinazione di quali informazioni elementari dovrebbe partire? Quali dovrebbero essere i nodi semplici ovvero le informazioni minime contenute in questa rete?

Se ogni nodo di questa rete, come quelle riportate nelle figure precedenti, nascondesse delle altre reti sottostanti delle quali fosse il prodotto, si complicherebbe tutto all'inverosimile per effetto di un'esplosione combinatoria? O si semplificherebbe tutto?

La rete cerebrale

Lo schema del neurone è ottenuto mediante un ingrandimento molto consistente di una sezione di fibra nervosa della corteccia cerebrale dell'uomo. Questa è forse la rete per collegare informazioni più complessa e nello stesso tempo più integrata che si conosca. Essa lavora combinando assieme, in modo associativo, delle informazioni estremamente semplici. L'informazione - che a questo punto sembra pensabile come un processo e non come un semplice campione in memoria - viene generata nel sistema mediante dei rilevamenti estremamente semplici, cioè degli stimoli percettivi che possiamo ritenere basilari. Una prima combinazione associativa tra questi stimoli crea un primo livello semplice di informazione. A loro volta le informazioni disposte su questo livello vengono tra loro integrate in un crescendo associativo che arriva a generare livelli informativi complessi molto elevati. Il processo è, con le dovute cautele, comparabile a quanto avviene nell'uso del linguaggio: l'associazione di lettere dell'alfabeto crea la parola; l'associazione di parole crea le frasi; associando le frasi si creano dei pensieri articolati; ecc.. Il tutto in un continuo processo di accrescimento. Ma è veramente attendibile l'ipotesi che il cervello generi informazione come una rete, cioè che sia esso stesso una vastissima rete semantica, combinando insieme poche informazioni elementari?

La rete e i colori

Se sì, da quale livello dovrebbe cominciare il processo? Consideriamo quanto avviene ad esempio per un fenomeno semplice: la visione del colore. Negli anni '60 alcuni ricercatori americani scoprirono che nella retina esistono solo tre tipi di recettori di colore, sensibili in modo più consistente ad uno spettro di emissione corrispondente ai colori rosso, verde e blu. Il massimo assorbimento per ognuno di questi recettori si verifica nella frequenza corrispondente (rossa per il recettore rosso, verde per il recettore verde ...). Osservando un pannello mezzo rosso e mezzo giallo mediante un filtro rosso non si distinguono praticamente le due metà. Le cose cambiano però se l'osservazione viene fatta mediante un filtro verde: la metà rossa appare molto più scura. La visione attraverso un filtro blu rivela un po' più scuro anche la parte gialla.

Un colore non viene letto però direttamente attraverso un solo recettore: la sola visione attraverso il recettore (filtro) rosso non permette cioè di distinguere, come si è visto, la parte rossa del pannello da quella gialla. La visione del colore rosso avviene invece per effetto di tutti e tre i recettori - e dei neuroni ad essi collegati - che interagiscono reciprocamente confrontando il proprio schema di assorbimento del colore, cioè i reciproci rapporti di oscurità/luminosità. Se fosse possibile vedere direttamente il colore con il recettore corrispondente, cioè se vi fossero i recettori del giallo, del marrone, ecc., il sistema sarebbe radicalmente diverso: non sarebbe più di tipo interattivo. Non opererebbe una sintesi ma un confronto.

Confronto tra la rete semantica e rete cerebrale

Questa struttura lo renderebbe quindi omologabile alla struttura elaborativa del computer sequenziale che, non disponendo di un hardware interattivo, si deve servire di un campione memorizzato ad esempio in un data base per effettuare delle identificazioni sul mondo esterno. Un confronto tra i due sistemi può essere interessante:

1. Il sistema interattivo ha solo tre recettori. Il sistema non interattivo (a lettura diretta) ha un recettore per ogni colore: deve contenerne quindi un numero considerevole per poter percepire i colori corrispondenti.
2. Il sistema interattivo può leggere tutti i colori. Il sistema a lettura diretta può vedere solo i colori corrispondenti ai recettori in dotazione (in pratica ha un prototipo-campione del colore posto in memoria).
3. Nel sistema interattivo l'informazione relativa al colore non è contenuta esclusivamente in nessuno dei tre recettori: è distribuita su ognuno di essi. Nel sistema a lettura diretta l'informazione relativa al colore si identifica totalmente col relativo recettore, cioè con il prototipo in memoria.

Come si può facilmente intuire la differenza tra i due sistemi diventa tanto più evidente quanto più l'informazione da elaborare è complessa. E' interessante però osservare che alla base di questa complessità non vi è un particolare sistema percettivo, perché tutta l'informazione di cui l'uomo dispone viene ottenuta in seguito mediante dei prodigiosi processi di sintesi. Invece, gli stimoli basilari da cui l'informazione è generata sono sempre estremamente semplici. Un altro esempio di semplicità percettiva (e di sintesi interattiva dell'informazione) è fornito dal senso del gusto, cioè dalla percezione di informazioni sulla composizione fisico-chimica degli alimenti. I recettori primari, cioè le terminazioni nervose preposte a raccogliere gli stimoli semplici, sono in questo caso quattro. L'introduzione nella bocca di particolari sostanze chimiche in soluzione eccita i corrispondenti recettori e dà origine a differenti sensazioni che mutano al variare della sostanza ingerita (salato, acido, amaro, dolce)

GUSTO SALATO: compare con una concentrazione dello 0,07% di cloruro di sodio, o di altri sali di potassio e magnesio nella soluzione gustata.

GUSTO ACIDO: è causato dalla presenza di qualsiasi sostanza acida.

GUSTO AMARO: è causato da alcuni cationi pesanti come ad esempio il calcio, ma soprattutto dagli alcaloidi.

GUSTO DOLCE: è provocato da alcuni alcoli e da i loro derivati, tra cui i glucidi (ad esempio il saccarosio). Il gusto dolce può essere prodotto da composti di formula chimica molto diversa la cui morfologia giunga ad interessare i recettori del dolce: ad esempio l'acetato di piombo e il cloroformio.

Ogni singolo recettore, nell'atto della degustazione, viene eccitato dalle sostanze chimiche corrispondenti e, proprio come avviene per i recettori del colore nell'ambito della visione, invia questa segnalazione a gruppi di neuroni cerebrali ad esso collegati. Anche in questo caso è solo a livello cerebrale che avviene la sintesi interattiva del segnale. Ciò significa che il gusto dolce di una sostanza non è riscontrabile solo attraverso l'eccitazione dei recettori del dolce, ma da una consistente eccitazione di questi recettori a fronte di una quasi inesistente eccitazione dei recettori dell'amaro, del salato e dell'acido. Se così non fosse, se ad esempio vi fosse un buon interessamento dei recettori dell' amaro a fronte di quelli del dolce, si avrebbe la sintesi combinata di un altro gusto: ad esempio qualcosa di simile a quello dei carciofi (caratterizzato da una presenza dolce-amara).

Tutta la varietà di gusti che l'uomo può percepire è generata unicamente per sintesi combinatoria del segnale proveniente da questi quattro tipi di recettori. Per quanto riguarda l'olfatto la cosa si ripete identica, solo che i recettori sono di sette tipi anziché di tre come per il colore o di quattro come per il gusto. In pratica, durante la masticazione del cibo anche l'olfatto con i suoi 7 recettori invia segnali sulla composizione chimica del cibo con il riscontro delle sostanze più volatili contenute in esso.

Tutte queste informazioni vengono però integrate con le altre - quelle provenienti dalla lingua - solo a livello di corteccia cerebrale. Si tratta per così dire, di un secondo livello di sintesi perché il primo é quello che avviene tra i recettori dello stesso apparato. Ma per comprendere come i livelli di sintesi corticale del segnale siano in grado di produrre un percetto unico basti pensare a quanto avviene quando, con un forte raffreddore, si cerca di decifrare il gusto di una pietanza. I processi di sintesi quindi non si fermano una volta definito il colore, il gusto, o l'odore, ma continuano a produrre associazioni reciproche tra stimoli sempre più complesse, fino alla generazione di informazioni incredibilmente integrate. Sono operazioni associative di tipo interattivo, funzioni in apparenza molto diverse tra loro quali la visione del colore, la memoria, la comprensione del linguaggio, la soluzione di problemi logico-matematici. Per queste funzioni elaborative e per tutte quelle potenzialmente esprimibili, lo schema funzionale del cervello si avvale sempre delle stesse tre strutture anatomiche fondamentali: mappe, rientri e repertori secondari.

Mappe

Percezioni elementari del mondo esterno, lette attraverso gli specifici recettori, vengono campionate e collocate su un contingente fisico di neuroni. Questa operazione viene denominata mappatura, e il gruppo di neuroni di supporto viene denominato mappa. Nel cervello, ad esempio, la visione di linee orizzontali produce una mappatura su gruppi di neuroni ben definiti, diversi da quelli su cui devono mappare le linee verticali, curve oblique, oppure dei tre colori elementari. I neuroni, sui quali hanno mappato gli orientamenti orizzontali reagiscono poi trasmettendo il loro segnale di riconoscimento (sotto forma di scarica elettrica) ogni qualvolta vi sia percezione di linee così orientate.

Rientri

Una volta mappati, gli stimoli elementari si trovano tra loro collegati tramite delle connessioni multiple bidirezionali che uniscono in rete i neuroni. Questi collegamenti, diversamente da quanto avviene nel caso dei processi di mappatura, permettono di associare non più una mappa ad uno stimolo fisico, ma una mappa ad un'altra mappa. Questo genere di connessioni deve ritenersi strategico: mentre quelle cervello-recettore sono appannaggio di tutto il regno animale, quelle mappa-mappa sono presenti in misura apprezzabile nei soli mammiferi. La maggior parte di esse si trova fisicamente dislocata nella corteccia cerebrale (o neocorteccia), e l'abbondanza di questa regione è forse - come osserva G.P. Changeux - l'unica discriminante di rilievo che caratterizza il cervello dell'uomo nei confronti di quello degli altri animali. Questi reticoli fisici di connessioni tra mappe vengono denominati da Edelman rientri. La pianta organica dei rientri che si stabiliscono tra le diverse mappature dà origine ad un repertorio primario.

Repertori secondari

Il ruolo strategico svolto dai rientri tra mappe neuronali dipende essenzialmente dal fatto che essi costituiscono la base anatomica effettiva dell'elaborazione parallela. Se a livello percettivo due o più stimoli elementari si presentano associati con una certa consuetudine - magari all'interno di un unico stimolo complesso - questa affinità viene trasferita e registrata in ambito neuronale come rinforzo associativo (come un forte rientro) tra le corrispondenti mappature. Così la percezione di stimoli associati, collegando le corrispettive mappature neuronali, li traduce in ultima istanza in un meccanismo "fisiologico" di implicazione. Se, dopo aver mappato in maniera congiunta, gli stimoli elementari di cui sopra si presentano alla percezione in modo indipendente l'uno dall'altro, ognuno di essi conserverà la prerogativa di attivare, tramite il reticolo di collegamenti già stabilizzato in precedenza, non solo i gruppi neuronali relativi alla propria mappatura, ma anche quelli delle mappe corrispondenti

agli stimoli che in precedenza vi si trovavano associati. Questo semplice meccanismo, se da un lato costituisce il fondamento organico della memoria, dall'altro, essendo un meccanismo essenzialmente associativo, rappresenta il modulo di generazione per tutti i processi elaborativi (intesi come processi compositivi) espressi dal cervello.

In pratica: gruppi di neuroni sono geneticamente preposti a ricevere informazioni relative a stimoli elementari ben determinati. Durante i primi giorni, settimane e mesi di permanenza del neonato nell'ambiente, gli stimoli che si presentano associati a livello percettivo, vengono mappati e associati anche a livello cerebrale (repertori primari). Una volta stabilizzati i repertori primari, qualsiasi nuova esperienza permetta di formulare nuove combinazioni percettive, viene memorizzata sotto forma di rinforzo connettivo tra le mappature corrispondenti (repertori secondari). Tutta l'informazione di cui l' uomo dispone viene sintetizzata transitando per queste strutture anatomiche a rete. Nel caso della percezione dei colori il processo completo di costruzione della informazione può essere così descritto: i riscontri di stimoli elementari che riguardano le frequenze corrispondenti ai colori rosso, verde e blu vengono raccolti dai recettori retinici, cioè dalle terminazioni nervose poste sull' organo deputato alla percezione sensibile, e trasportati a livello cerebrale dove avviene il riconoscimento ad opera dalle mappe neuronali corrispondenti. Ognuna di queste mappe può riconoscere soltanto lo stimolo relativo al proprio riscontro (ad esempio la mappa neuronale collegata a livello cerebrale ai recettori del colore rosso è informata solo del grado di presenza/assenza di questo tipo di frequenza, ma non può essere coinvolta, pena la confusione, in riscontri eccitatori che riguardano i recettori e le mappe relative al verde e al blu). Il riconoscimento di ciò che succede complessivamente nei tre tipi di recettore e nelle mappe corrispondenti, cioè la ricostruzione cerebrale del colore, avviene in zone della corteccia che non sono collegate direttamente all' esterno da terminazioni nervose. Queste aree vengono denominate zone silenziose (proprio perché non rispondono a stimoli sensoriali diretti) o aree associative della corteccia, e sono il luogo fisico in cui avviene la sintesi dell' informazione.

Le interconnessioni tra le mappe neuronali e le cosiddette aree silenziose della corteccia costituiscono il repertorio primario, cioè il primo e fondamentale livello di collegamento tra stimoli che diventano informazione, ma anche, contemporaneamente, il primo e fondamentale livello associativo tra gruppi di neuroni. La sintesi dell' informazione colore avviene quindi non a livello di mappe neuronali ma a livello di repertori primari.(cioè di associazione tra mappe). La prestazione complessiva della visione necessita naturalmente di molti altri rilevamenti semplici da effettuare sul campo visivo oltre a quelli riguardanti il colore (e, come al solito, questi stimoli vengono raccolti da recettori specifici e trasmessi alle relative mappe interconnesse). Il numero complessivo delle mappe necessarie per espletare questa delicata funzione è però, rispetto a quello che ci si potrebbe attendere, relativamente basso e ben delimitato: "...Per esempio, le evidenze indicano

che ci sono almeno venti di tali aree nel sistema visivo dei primati, collegate attraverso la neuroanatomia, la maggior parte delle quali è rientrante".

Possiamo constatare, con Edelman, che il sistema di rilevamento che l'uomo usa per raccogliere gli stimoli visivi elementari è identico (una ventina di mappature) a quello usato dalle scimmie, e in sostanza simile a quello usato da altri animali. Ciò non significa comunque che egli ottenga da questo sistema una quantità di informazioni comparabile. L'informazione infatti -come sappiamo- non è disponibile a livello di sole mappe cerebrali perché è necessaria almeno di una sintesi successiva al rilevamento di caratteristiche per ottenerla. Ciò significa che l'informazione si ottiene a livello di repertori primari ma, ancor di più, a livello di repertori secondari. Cioè si condensa su reti con maggior grado di integrazione. Fondamentali per la conformazione di entrambe queste strutture sono i rientri, cioè quella rete fisica di collegamenti che permette il transito del segnale, durante i percorsi di sintesi, da una regione all'alta. Una comparazione tra differenti strutture cerebrali rende la cosa maggiormente evidente. L'espansione della corteccia cerebrale da un rettile all'uomo, passando per un mammifero primitivo (es. un canguro). La presenza della corteccia cerebrale (n), cioè dell'area associativa, è insignificante (o assente) nei rettili, sviluppata nel mammifero primitivo, e assolutamente preponderante nell'uomo. Questo significa che l'uomo può disporre sistematicamente di maggiori informazioni rispetto a tutti gli altri animali. Ciò è dovuto all'elevatissimo grado di associazione ed integrazione che viene impresso ai rilevamenti elementari ad opera della corteccia cerebrale, cioè dall'area associativa per eccellenza.

Il numero relativamente contenuto di mappe cerebrali non limita minimamente la varietà di informazione prodotta. Le mappe sono, per certi aspetti, paragonabili alle lettere dell'alfabeto: come la combinazione di un numero limitato di lettere è in grado di generare una enorme quantità di informazioni, nello stesso modo la combinazione di un numero limitato di mappe è in grado di generare tutta l'informazione di cui l'uomo dispone. Ma, mentre la selezione delle lettere che compongono le parole e le frasi è arbitraria nel caso dell'alfabeto, è imposta dall'ambiente, mediante l'azione sui recettori, nel caso delle combinazioni tra mappe

Nulla vieta, però, che il cervello stesso possa comporre l'informazione percorrendo le mappature in maniera del tutto autonoma rispetto alle stimolazioni sensoriali fornite dall'ambiente. In ogni caso, così come l'informazione verbale non coincide con nessuna delle singole lettere dell'alfabeto, anche nei processi cognitivi l'informazione non è contenuta in nessuna singola mappa: per entrambi i sistemi l'informazione è invece generata solo ed esclusivamente mediante una combinazione di questi elementi di base. L'informazione non dipende quindi dal numero di stimoli semplici che un cervello riesce a mappare (sembra, anzi, che il numero di questi elementi sia circa uguale per l'uomo e per la scimmia, date le enormi uguaglianze cromosomiche), ma dal livello di associazione che questo riesce ad imprimere. Questi criteri generali del sistema valgono, come per ogni altra funzione elaborativa, anche per la funzione

mnemonica. Anche in questo caso i repertori secondari vengono generati in maniera combinatoria associando gli elementi semplici oggetto di mappatura. I vantaggi di questo sistema di memoria (distribuita) appaiono evidenti, soprattutto se raffrontati con quelli relativi all'architettura del computer sequenziale;

- Capacità di memoria illimitata: sono infinite le possibili combinazioni che il sistema può generare, sono quindi infinite le cose potenzialmente memorizzabili;
- Economia di memoria: l'informazione, composta da elementi semplici e da un sistema in grado di costruire - o ricostruire - le interazioni tra essi, è disposta in modo estremamente compatto;
- Memoria attiva: una memoria compositiva è completamente diversa da una memoria di immagini fisse, che è, in ultima istanza, una memoria passiva di puro confronto e riconoscimento (architettura elaborativa del computer sequenziale). Infatti una memoria suddivisa in elementi semplici (distribuita) è variamente componibile in base al contesto. Questo carattere di componibilità le conferisce un comportamento attivo.

Il cervello appare quindi come un sistema in cui l'informazione è distribuita su più regioni fisiche e si compone solo mediante l'interagire di queste.

Conclusioni

Una prima osservazione, forse la più più generale possibile, è che ogni sistema elaborativo sembra principalmente un sistema di collegamento tra informazioni. Un sistema di elaborazione dell'informazione appare tanto più efficace quanti più elementi informativi riesce ad associare in modo integrato nell'azione elaborativa. Nell'ordine abbiamo considerato i diagrammi di flusso che, avendo tutte le implicazioni tra le informazioni contenute previste, vantano possibilità combinatorie e associative relativamente contenute.

Come secondo sistema di elaborazione abbiamo osservato alcune reti semantiche. In questo caso il sistema elaborativo offre un grado maggiore di libertà combinatoria-associativa tra gli elementi informativi di base (nodi) informativi che le compongono. Questo tipo di struttura parte tuttavia da livelli di informazione già strutturati, ovvero complessi. Come ultimo sistema abbiamo osservato una rete semantica hardware cioè il cervello umano. L'efficacia di questo sistema consiste nel fatto che l'informazione viene generata a partire da livelli estremamente bassi in modo combinatorio.

L'osservazione di questo sistema ha consentito di trarre alcune conclusioni: l'informazione è un concetto che non ha uguale valenza nel caso si parli del cervello umano o dei computer: in quest'ultimo sistema l'informazione non è l'input ma è un

prototipo già completamente strutturato presente in memoria; mentre per il cervello dell'uomo il concetto di informazione nasconde quello di interattività che è alla base di essa. Così è sembrato che non vi sia un concetto comune di informazione che possa prescindere dalla struttura elaborativa preposta a gestirla (se ciò è vero nel regno animale in cui, a parità di stimoli raccolti, l'informazione varia in base al grado di integrazione tra essi che ogni specifico cervello riesce a produrre, questo è ancor più vero quando le differenze tra strutture elaborative sono ancor più profonde e radicali). Se, in conclusione, si deve ritenere che l'informazione è un processo e non un prototipo, occorre considerare necessariamente quale base fisica lo realizza.